



Respuesta productiva y económica a la suplementación con concentrados de vacas lecheras en pastoreo con alta carga animal



Benito Albarrán-Portillo ^{a*}

Felipe López-González ^b

Miguel Ruiz-Albarrán ^c

Carlos Manuel Arriaga-Jordán ^b

^a Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Km 67.5 Carretera Toluca-Tejupilco, 51300.Temascaltepec, Estado de México. México.

^b Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. México.

^c Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México.

* Autor de correspondencia: balbarranp@uaemex.mx

Resumen:

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala contribuyen a mejorar las condiciones de pobreza rural y a incrementar el suministro local de leche. Su sostenibilidad está limitada por los altos costos de alimentación, sobre todo por la compra de concentrados (CC), mientras que el pastoreo de forrajes de alta calidad puede mejorar la rentabilidad. No obstante, la alta carga animal puede justificar el uso de una gran cantidad de CC. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta productiva y económica de las vacas lecheras de pastoreo a los niveles de CC bajo pastoreo de ballico asociado con trébol blanco con una alta carga animal (4 vacas/ha). Se utilizó un diseño de 3 X 3, repetido con seis vacas lecheras Holstein agrupadas en tríos por cuadro, registrando el rendimiento diario y la composición de la leche, así como la ingesta de pasto calculada a partir de la energía metabolizable utilizada. Los tratamientos fueron: T1= 1.0 kg, T3= 3.0 kg y T6=6.0 kg de concentrado/vaca/día. Hubo diferencias

significativas ($P<0.05$) en el rendimiento de leche, el cual fue más elevado con el T6 que con el T1 y el T3. No hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos en lo que respecta a los contenidos de proteína de leche o grasa ($P>0.05$). La ingesta de pastos fue significativamente ($P<0.05$) menor en el T6, sin diferencias ($P>0.05$) entre el T1 y el T3. No hubo diferencias en los márgenes sobre los costos de alimentación, pero el costo de alimentación por kilo de leche fue 2.2 veces más alto en el T6 que en el T1, y el margen por kilo de leche fue 26 % más alto en el T1 que en el T6. Si bien los rendimientos de leche son superiores con el T6, el T1 y el T3 requieren menos gastos y tienen márgenes similares. La suplementación puede aligerar la elevada presión del pastoreo que deteriora las praderas, asegurando una sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de producción de leche en pequeña escala.

Palabras clave: Leche, Suplementos, Concentrado, Ingesta, Densidad de población, Costo.

Recibido: 17/07/2018

Aceptado: 18/09/2018

Introducción

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala en México son una opción de desarrollo rural debido a que permiten a las familias ganaderas superar los índices de pobreza⁽¹⁾. Estos sistemas son importantes en muchas áreas del mundo con características comunes a las zonas montañosas de México⁽²⁾ y otros países latinoamericanos, por ejemplo las regiones montañosas andinas del Perú^(3,4), así como de Uganda⁽⁵⁾.

En México, estos sistemas se caracterizan por estar integrados por granjas pequeñas con hatos de entre tres y 35 vacas más remplazos, y por depender de la mano de obra familiar⁽⁶⁾. Su sostenibilidad se ve en riesgo debido a los altos costos de alimentación así como al estancamiento en los precios de la leche; ello obedece principalmente a que estas granjas dependen de insumos externos, de los cuales los concentrados comerciales representan la mayor proporción de los costos, puesto que los ganaderos consideran que la suplementación con niveles elevados de concentrado son necesarios para la producción de leche, incluso con los rendimientos moderados propios de estos sistemas. Por lo tanto, la escala económica limita su sostenibilidad⁽⁶⁾.

Un uso elevado de forrajes locales de alta calidad puede incrementar la rentabilidad y por ende la sostenibilidad de estos sistemas, como ocurre con el pastoreo intensivo de praderas templadas en granjas con acceso al riego, el cual se ha demostrado que reduce los costos de alimentación en estos sistemas⁽⁷⁾.

Sin embargo, una limitación de las vacas lecheras de pastoreo es su baja ingesta de materia seca⁽⁸⁾, particularmente bajo una elevada presión de pastoreo, de modo que es posible que en estas condiciones se requieran los concentrados para para sostener los rendimientos de leche. Tradicionalmente, el ganado de los sistemas de producción lechera en pequeña escala rebasa la capacidad de las pequeñas granjas, pues su carga animal es de más de 3.0 vacas/ha de tierras agrícolas⁽⁶⁾, por lo que en estos sistemas puede estar justificado un uso elevado de concentrados.

De ahí el objetivo de este trabajo haya sido evaluar la respuesta productiva y económica de las vacas lecheras en pastoreo con una alta carga animal con niveles altos de suplementación con concentrados, así como el efecto de estos en la ingesta de forraje.

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Ejido San Cristóbal, una comunidad campesina cuyas unidades de producción familiares practican la ganadería lechera en pequeña escala, localizada en una zona montañosa del centro de México, a 19° 24' N y 99° 51' O y a una altura de 2,650 m. La región tiene un clima templado subhúmedo con una temporada de lluvias (mayo – octubre) y una temporada de secas (noviembre – abril) claramente definidas, una precipitación anual promedio de 800 – 1,000 mm y una temperatura anual media de 13 °C. El experimento se realizó durante la temporada de lluvias, del 26 de junio al 27 de agosto de 2000.

Se estableció un módulo demostrativo de estrategias de alimentación para hatos lecheros pequeños tras de consultar a la comunidad, sobre un predio de 1.5 ha perteneciente a la escuela local. Un ganadero local participante gestionó el módulo, con un hato de seis vacas lecheras locales, siguiendo un enfoque participativo de investigación sobre tecnología ganadera⁽⁹⁾ de modo que los resultados fueran aplicables por los ganaderos de la región y de otras áreas con sistemas similares.

Diseño experimental

Se aleatorizaron secuencias Li de Tratamiento para el Cuadrado 1, y el Cuadrado 2 siguió una imagen de espejo de las secuencias de tratamiento para tomar en cuenta los efectos residuales. Las vacas se asignaron al azar a una secuencia de tratamiento en ambos cuadrados como en un estudio anterior⁽¹⁰⁾.

Los periodos experimentales duraron 21 días: 14 para adaptación a la dieta, y 7 como período de medición. Las vacas se ordeñaron a mano dos veces al día, a las 0500 y 1800 h.

Los tratamientos fueron: T1= 1.0; T3= 3.0, y T6= 6.0 kg en base fresca/vaca/día de concentrado comercial con 16% de PC, respectivamente. Las vacas pastaron continuamente durante 11 h/d⁻¹ y en la pradera (*Lolium perenne* y *Trifolium repens*), se les proporcionó agua para beber a voluntad. Durante las noches, las vacas permanecieron dentro del establo, y no se les proporcionó alimento.

Con una báscula de resorte se pesó diariamente el rendimiento lácteo durante los 7 días de medición de cada periodo experimental, considerando como base el rendimiento diario promedio para el análisis, y se tomaron muestras de leche de la ordeña de la mañana y de la de la tarde para determinar su contenido de proteína y grasa.

En el último día de cada periodo experimental se determinó condición corporal (según una escala de 1 – 5).

Establecimiento de la pradera y manejo del pastoreo

Se sembraron 1.5 ha con pastura mixta de raigrás perenne (*Lolium perenne* cv. Nui), raigrás anual (*L. multiflorum* cv. Tama) y trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Pitaw). La pradera se fertilizó cada 4 semanas con 75 kg de urea (46-0-0)/ha⁻¹, y dos veces al año con 100 kg/ha de superfosfato triple (0-46-0) y cloruro de potasio (0-0-60), respectivamente. Se llevó a cabo un pastoreo continuo (en el mismo potrero) diariamente de las 0700 a las 1800 h.

Mediciones del forraje

La estimación de la acumulación neta de forraje (ANF) fue a partir del corte con tijeras hasta el nivel del suelo en cuadrantes de 0.5 m² (2.0 x 0.25 m), dentro de cinco jaulas de exclusión. La ANF fue la diferencia entre el corte de la masa herbácea dentro de la jaula en 21 días y el forraje encontrado fuera de la jaula en el día 0; posteriormente, las jaulas fueron reubicadas al azar dentro de la pradera^(11,12,13). Las muestras de forraje cortado se secaron a 60 °C en un horno de aire forzado para determinar la MS. Se registró la altura del forraje (cm) con un plato forrajero dos veces a la semana, realizando dos registros según un patrón en zigzag^(10,11).

Composición química del forraje y de los concentrados

Se tomaron muestras de los pastos arrancándolas a mano a la altura aproximada a la que las vacas los cortaron al pastar^(14,15). Durante cada periodo de medición se analizaron los pastos y el concentrado para evaluar su contenido de materia seca (MS), materia orgánica por calcinación (MO), proteína bruta (PB), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), y su energía metabolizable estimada (EME) se midió a partir de su digestibilidad *in vitro* utilizando técnicas estándar siguiendo los procedimientos reportados⁽¹⁾

Estimación del consumo voluntario

Se estimó de manera indirecta la ingesta de MS de forraje, una vez durante cada periodo de medición a partir de los resultados del rendimiento de los animales^(15,16) como sigue:

$$\text{Ingesta de materia seca (kg MS d}^{-1}\text{)} \\ = \frac{(\text{EM}_m + \text{EM}_{pl} + \text{EM}_{cpv} + \text{EM}_g) - (\text{suplemento EM})}{\text{Forraje EM}}$$

donde EM_m, EM_{pl}, EM_{cpv} and EM_g son los requerimientos de EM para el mantenimiento, la producción láctea, el cambio de peso vivo y la gestación, respectivamente⁽¹⁷⁾, la EM del suplemento es la EM proporcionada por el suplemento, y la EM del forraje es la concentración estimada de EM de las muestras de pastos.

Análisis estadístico

Las variables animales se analizaron como un cuadrado latino de 3 x 3 con el siguiente modelo⁽¹⁰⁾:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_{j(i)} + P_k + t_l + e_{ijkl}$$

Donde:

μ = Media general;

S= efecto debido a los cuadrados. $i = 1, 2$;

C= efecto debido al número de vacas dentro de los cuadrados $j = 1, 2, 3$;

P= efecto debido a los periodos experimentales. $k = 1, 2, 3$;

t= efecto debido al tratamiento. $l = 1, 2, 3$;

e= término del error residual.

Se analizaron las variables de respuesta animal utilizando el comando del modelo lineal general MINITAB (2003). Se realizaron comparaciones múltiples entre medias de cuadrados mínimos utilizando la prueba de Tukey. Se analizaron las variables de forraje (Tabla 1) con un ANOVA de una sola vía, empleando el paquete de análisis de datos Excel® de Microsoft.

Análisis económico

El análisis económico se llevó a cabo utilizando el enfoque de presupuestos parciales⁽¹⁸⁾ para determinar las ganancias económicas debidas al uso de suplementos, exclusivamente para la leche. Los resultados de los análisis económicos se expresan en dólares estadounidense

Resultados

La temperatura promedio fue de 13.6 °C, con un máximo de 20.5 °C y un mínimo de 6.8 °C. La precipitación total durante el experimento fue de 332 mm, distribuida como sigue: 139, 122 y 61 mm en el PE1, el PE2 y el PE3, respectivamente.

El Cuadro 1 muestra resultados de la acumulación neta de forraje (ANH) por periodo y por día, así como una altura promedio de la pradera. La acumulación neta de forraje y la acumulación diaria de forraje (ADF) en el PE3 fue significativamente mayor que en el PE1 y el PE2 ($P < 0.01$).

Cuadro 1: Acumulación neta de forraje (ANF) y altura de la pradera

Masa de forraje	Periodo			P =	DE
	1	2	3		
kg MO/ha/periodo	1073.1 ^a	890.0 ^a	2024.5 ^b	0.01	609.0
kg MO/ha/día	51.1 ^a	42.4 ^a	96.4 ^b	0.02	29.0
Altura del forraje, cm	3.0	2.4	5.5	0.21	1.6

DE= Desviación estándar.

^{a,b} Los valores con superíndices diferentes difieren entre sí.

El Cuadro 2 muestra la composición química del forraje de la pastura. La proteína bruta y la digestibilidad no difirieron durante el PE ($P > 0.05$). La proteína bruta osciló entre 122 y 162 (en el PE1 y el PE2, respectivamente), con una media de 147 g/kg de MS. La Digestibilidad (Dig) media fue de 581 (g/kg de MS). La materia seca, ceniza, MO, FDN y FDA fueron diferentes entre los PE ($P < 0.05$). La energía metabolizable estimada (EME) fue diferente ($P < 0.001$) entre los PE; el valor más bajo estuvo en el PE1 (10.1), mientras que no hubo diferencia entre el PE2 y el PE3 (11.2 y 11.2 MJ EM/kg de MS).

Cuadro 2: Composición química del forraje

	Periodo			P	DE
	1	2	3		
Materia seca, g kg ⁻¹	275.5 ^a	346.9 ^b	262.1 ^a	0.001	45.6
Ceniza, g kg ⁻¹	265.2 ^a	230.2 ^a	97.6 ^b	0.03	0.1
Materia orgánica, g kg ⁻¹	734.8 ^a	769.8 ^a	902.4 ^b	0.001	32.3
Proteína cruda, g kg ⁻¹ MS	160.4	121.5	161.9	0.08	75.3
Fibra detergente neutro, g kg ⁻¹ MS	572.4 ^a	473.8 ^b	517.9 ^a	0.001	49.4
Fibra detergente ácido, g kg ⁻¹ MS	474.3 ^a	247.9 ^b	260.5 ^b	0.01	127.2
Digestibilidad de la materia orgánica, g kg ⁻¹ MS	602.3	559.7	NA	0.11	347.1
Energía metabolizable, MJ kg ⁻¹ MS	10.1 ^a	11.2 ^b	11.1 ^b	0.001	0.91

* Estimada con base en Menke y Steingass (1988).

DE= Desviación estándar.

^{a,b} Los valores con superíndices diferentes difieren entre sí.

El Cuadro 3 muestra los resultados de la ingesta de forraje, con diferencias significativas entre tratamientos. No hubo diferencias en la ingesta de forraje entre el T1 y el T3, pero ésta fue menor en el T6. Debido a la suplementación con concentrado, la ingesta total de forraje no difirió significativamente ($P>0.05$) entre el T3 y el T6, pero fue significativamente más baja ($P<0.05$) en el T1. Con el tiempo hubo una reducción en la ingesta de forraje, en el PE2, pese a las mejores condiciones de pastoreo; esto dio lugar a una ingesta total significativamente menor ($P<0.05$) en el PE2, comparado con los periodos uno y tres.

Cuadro 3: Ingesta de insumos por tratamientos y periodos, kg MO/vaca/día

Ingesta	Tratamientos			P	EEM
	T1	T3	T6		
Concentrado	0.9	2.6	5.3		
Forraje	8.2 ^a	7.3 ^a	6.1 ^b	0.001	0.5
Total	9.1	9.9	11.4	0.17	0.7
Ingesta	Periodo			P	EEM
	1	2	3		
Concentrado	2.9	2.9	2.9		
Forraje	7.3 ^a	6.9 ^b	7.3 ^a	0.04	0.5
Total	10.2 ^a	9.8 ^b	10.2 ^a	0.001	0.7

EEM = Error estándar de la media.

^{a,b} Los valores con superíndices diferentes difieren entre sí.

Hubo diferencias significativas ($P<0.05$) entre tratamientos en las producciones lácteas (Cuadro 4); no hubo diferencias entre el T1 y el T3, que difirieron significativamente ($P<0.05$) del T6, con el cual se obtuvo el mayor rendimiento.

Cuadro 4: Rendimiento y composición de la leche por tratamiento y por periodos

Tratamiento	T1	T3	T6	P
Rendimiento, kg/vaca/día	11.3 ^a	12.6 ^a	15.8 ^b	0.02
Contenido de grasa, g/kg	37.8	37.6	33.8	0.59
Contenido de proteína, g/kg	35.1	32.8	33.0	0.91
Periodo	1	2	3	P
Rendimiento, kg/vaca/día	-	11.3	14.1	0.11
Contenido de grasa, g/kg	38.5	35.6	35.5	0.60
Contenido de proteína, g/kg	30.6	36.3	34.0	0.11
Condición corporal	1.8	1.8	1.8	

EEM = Error estándar de la media;

^{a,b} Los valores con superíndices diferentes difieren entre si ($P<0.05$);).

El Cuadro 5 muestra los resultados de los costos de alimentación (en dólares estadounidenses). El incremento en la suplementación con concentrado aumentó los costos de alimentación. Los costos de alimentación totales en el T6 son casi tres veces los del T1, mientras que el ingreso lechero fue sólo un 28 % más alto, lo que da como resultado un costo de alimentación por kilo de leche 2.2 más alto en el T6 que en el T1, con cifras intermedias para el T3. Por lo tanto, la ganancia por kilogramo de leche fue un 33 % más alta con el T1 que con el T6.

Cuadro 5: Costos de alimentación para el rendimiento de leche en tres niveles de suplementación con concentrado (\$USD)

	Tratamientos		
	T1	T3	T6
Costo de insumos:			
Concentrado	24.5	76.4	152.8
Forraje	37.5	36.4	26.3
Costos totales de alimentación	63.0	112.8	179.1
Ganancias:			
Rendimiento de leche, kg	1,311.3	1,459.6	1,691.8
Ganancias totales por ventas de leche	388.5	432.5	501.3
Margen sobre costos del pienso	325.5	319.6	322.1
Proporción entre las ganancias y los costos de alimentación	6.2	3.8	2.8
Costo de alimentación, (USD/kg leche)	0.05	0.08	0.11
Precio de venta de la leche, (USD/kg)	0.29	0.29	0.29
Margen por kilo (USD/kg)	0.24	0.21	0.18

T1 = 1; T3 = 3 y T6 = 6 kg de concentrado MS vaca⁻¹/d.

Discusión

El efecto de la condición del clima se refleja en la composición química del forraje a lo largo de las distintas temporadas de crecimiento. Esta temporada de pastoreo se caracterizó por una tasa baja de crecimiento de los pastos, rebrotes cortos, una disponibilidad baja de forraje y un consumo bajo del mismo. Además, el desarrollo de los pastos se basó en el crecimiento vegetativo, caracterizado por mayores proporciones de hojas de pasto, proporciones menores de tallos y materia muerta, y mayor digestibilidad que la de otro estado vegetativo. Los pastos de clima templado utilizados para las vacas lecheras se describen como de alta calidad cuando la composición química es de alrededor de 180-240 g de MS kg⁻¹, 180 a 250 g PC kg⁻¹ de MS, 400 a 500 g FDN kg⁻¹ de MS, y 10.47 a 12.14 MJ EM kg⁻¹ de MS⁽¹⁹⁾. Bajo las condiciones de este experimento, el forraje se caracterizó por concentraciones bajas de proteína cruda, energía baja y cantidades bajas de carbohidratos no estructurales y de MS.

El contenido de proteína cruda del forraje de las pasturas fue menor que el señalado en un informe en el sur del Brasil⁽²⁰⁾ y que el reportado en los informes del trabajo realizado antes en la misma área de estudio^(21,22), pero suficiente para satisfacer las necesidades de proteína de las vacas lecheras con un rendimiento moderado⁽²³⁾.

El contenido estructural de carbohidrato determina la digestibilidad, el consumo y los valores nutricionales de los forrajes. Los valores promedio de la FDN y la FDA del forraje de la pastura fueron 521.4 y 327.6 g/kg de MS, respectivamente; estos valores son más bajos en los informes de un trabajo previo realizado en la misma área pero durante la temporada de secas⁽²⁴⁾.

La energía metabolizable estimada fue de 10.8 MJ/kg de MS en promedio (Cuadro 2), que representa un herbaje de buena calidad. Sin embargo, este valor es inferior al de 12.3 MJ ME/kg MS reportado en las zonas montañosas de México⁽¹⁰⁾, o al de 11.2 MJ ME/kg de MS reportado en Nueva Zelanda⁽²⁵⁾. La interacción del bajo contenido de energía y la baja disponibilidad de herbaje puede explicar las bajas ingestas y los bajos rendimientos lácteos observados.

La acumulación neta de forraje fue baja durante los periodos 1 y 2, que, debido a la elevada carga animal, dio como resultado una alta presión de pastoreo y una baja disponibilidad de forraje, con muy bajas alturas de pastoreo. La mejora en las condiciones de pastoreo, en términos de crecimiento y disponibilidad de forraje para el Periodo 3, permitió a las vacas mantener rendimientos de leche similares a los del Periodo 1, superando la pérdida de casi 3 kg/vaca/día ocurrida PE 1 y 2 a medida que se deterioraban las condiciones de pastoreo.

Las difíciles condiciones de pastoreo con poca disponibilidad de pastos y una producción láctea moderada dieron como resultado consumos bajos de forraje, que se vieron reducidos significativamente ($P < 0.05$) debido a la alta tasa de suplementación en el T6, con altos índices de sustitución.

Se ha reportado que la suplementación con 0.31 kg/día^{-1} de concentrado a las vacas lecheras en pastoreo da como resultado una reducción de 1.0 kg MS en la ingesta de forraje⁽²⁶⁾. No obstante, el consumo de forraje en el experimento descrito aquí fue similar al reportado^(27,28) en vacas lecheras en pastoreo en pasturas con una baja masa herbácea durante el invierno en Francia, cuya ingesta diaria promedio fue de 7.2 kg MS/vaca.

Los rendimientos de leche observados fueron más bajos que los resultados reportados para las vacas de pastoreo en Estados Unidos⁽²⁶⁾, el Reino Unido⁽²⁹⁾, el sureste de Estados Unidos⁽³⁰⁾ y México⁽²⁴⁾. Sin embargo, los rendimientos de leche observados fueron similares a los reportados por otros⁽²⁷⁾ en vacas en condiciones de pastoreo difíciles en el oeste de Francia, lo que ilustra el hecho de que las condiciones difíciles de pastoreo limitan la ingesta y los rendimientos, sobre todo durante la lactancia tardía.

Los contenidos de grasa de la leche son similares a los reportados en Francia⁽²⁷⁾, España⁽³¹⁾ y Chile⁽³²⁾. Si bien no hubo diferencias estadísticas en el contenido de grasa de la leche

($P>0.05$), sí hubo una tendencia hacia un menor contenido con el tratamiento de alta suplementación T6.

El contenido de proteína de la leche fue más alto que los reportados en estudios en México con ganaderos lecheros en pequeña escala^(33,34) y en Chile⁽³²⁾, pero similares al contenido de proteína de la leche citado en un estudio realizado en el Reino Unido⁽²⁹⁾.

En términos de costos de alimentación y ganancias, pese a los menores rendimientos obtenidos con los tratamientos T1 y T3, en comparación con los del T6, el margen sobre los costos de alimentación es similar para los tres tratamientos. Sin embargo, en términos del costo de alimentación por kilogramo de leche y de las ganancias sobre los costos de alimentación, el T1 tiene un costo menor y una mayor ganancia. El costo de alimentación por kilogramo de leche fue 2.5 veces mayor en el T6 que en el T1, y el margen fue 25 % más alto en el T1 que en el T6; los resultados del T3 fueron intermedios.

Los bajos costos de alimentación y los márgenes similares entre tratamientos dan como resultado una proporción sumamente elevada entre las ganancias y los costos de alimentación para el T1 en comparación con el T6.

Conclusiones e implicaciones

En conclusión, no hay un beneficio económico en el incremento de la suplementación con concentrados, puesto que los márgenes totales sobre los costos de alimentación son similares, y los ganaderos necesitan un mayor flujo de efectivo para poder cubrir el incremento en los costos por la compra de mayores cantidades de concentrados. Sin embargo, se requieren experimentos a largo plazo, ya que la suplementación aligera la presión de pastoreo debida a la alta carga animal en el corto plazo. La ANH fue baja, lo que dio como resultado que las difíciles condiciones de pastoreo limitaran la ingesta de las vacas. Los forrajes o subproductos de menor costo que los concentrados comerciales también pueden ser una alternativa para sostener la productividad de las vacas y de las praderas. Un equilibrio óptimo entre la productividad, la economía y las buenas condiciones de la pastura asegurará la sostenibilidad a largo plazo de estos sistemas ganaderos en pequeña escala.

Agradecimientos

Se agradece a todos los miembros del Ejido San Cristóbal, en particular al Sr. Hermenegildo Reyes-Reyes, el ganadero participante que estuvo a cargo del módulo de demostración, por su apoyo pleno y entusiasta al proyecto. A la Sra. Laura Edith Martínez-Contreras y a la Sra. Irma López-Anaya (q.e.p.d.) por el análisis químico. Se

agradece también al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONACYT, por haber financiado este estudio mediante la beca 28888-B.

Literatura citada:

1. Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Exp Agr* 2007;43:241-256.
2. Cortez-Arriola J, Groot CJJ, Walter AH, Rossing AHW, Scholberg MSJ, Améndola-Massiotti RD, Tiftonell P. Alternative options for sustainable intensification of smallholder dairy farms in North-West Michoacán, Mexico. *Agric Syst* 2016;144:22-32.
3. Bartl K, Mayer AC, Gómez CA, Muñoz E, Hess HD, Holmann F. Economic evaluation of current and alternative dual-purpose cattle systems for smallholder farms in the central Peruvian highlands. *Agr Syst* 2009;101:152–161.
4. Okello S, Sabiiti EN, Schwartz HJ. Analysis of factors affecting milk yield of Ankole cows grazed on natural range pastures in Uganda. *Afr J Range Sci* 2005;22:149-156.
5. Kiggundu M, Kabi F, Mette V, Nalubwama S, Odhong C. Management and use of dairy cattle feed resources on smallholder certified organic pineapple farms in Central Uganda. *J Agr Environ Int Dev* 2014;108:207-225.
6. Fadul-Pacheco L, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecol Sust Food* 2013;37:882-901.
7. Pincay-Figueroa PE, López-González F, Velarde-Guillén J, Heredia-Nava D, Martínez-Castañeda FE, Vicente F, *et al.* Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in small-scale dairy systems in the central highlands of Mexico. *J Agr Environ Int Dev* 2016;110:349-363.
8. Kolver ES, Muller LD. Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J Dairy Sci* 1998;81:1403-1411.
9. Conroy C. Participatory Livestock Research. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, UK, ITDG Publishing; 2005.
10. Celis-Alvarez MD, López-González F, Martínez-García CG, Estrada-Flores JG, Arriaga-Jordán CM. Oat and ryegrass silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2016;48:1129-1134.

11. Sainz-Sánchez PA, López-González F, Estrada-Flores JG, Martínez-García CG, Arriaga-Jordán CM. Effect of stocking rate and supplementation on performance of dairy cows grazing native grassland in small-scale systems in the highlands of central Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2017;49:179-186.
12. Shakhane LM, Mulcahy C, Scott JM, Hinch GN, Donald GE, Mackay DF. Pasture herbage mass, quality and growth in response to three whole-farmlet management systems. *Anim Prod Sci* 2013;53:685-698.
13. McCarthy B, Pierce KM, Delaby L, Brennan A, Fleming C, Horan B. The effect of stocking rate and calving date on grass production, utilization and nutritive value of the sward during the grazing season. *Grass Forage Sci* 2013;68:364-377.
14. Soca P, Gonzalez H, Manterola H, Bruni M, Mattiauda D, Chilibroste P, Gregorini P. Effect of restricting time at pasture and concentrate supplementation on herbage intake, grazing behaviour and performance of lactating dairy cows. *Livest Sci* 2014;170:35-42.
15. Sheahan AJ, Gibbs SJ, Roche JR. Timing of supplementation alters grazing behavior and milk production response in dairy cows. *J Dairy Sci* 2013;96:477-483.
16. Rojas-Garduño M, Balocchi O, Vicente F, Pulido R. Effect of supplementation with cracked wheat or high moisture corn on milk fatty acid composition of grazing dairy cows. *Chilean J Agric Res* 2018;78:96-105.
17. AFRC - Agricultural and Food Research Council. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford, UK, CAB International;1993.
18. Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM. Small-Scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Exp Agr* 2007;43:241-256.
19. Ruiz-Albarran M, Balocchi O, Wittwer F, Pulido R. Milk production, grazing behavior and nutritional status of dairy cows grazing two herbage allowances during winter. *Chilean J Agric Res* 2016;76:34-39.
20. Miguel MF, Ribeiro-Filho H, Mendonça NA, De Andrade EG, Moraes TC, Delagarde R. Pasture intake and milk production of dairy cows grazing annual ryegrass with or without corn silage supplementation. *Anim Prod Sci* 2014;54:1810-1816.
21. Heredia-Nava D, Espinoza-Ortega A, González-Esquivel CE, Arriaga-Jordán CM. Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of México. *Trop Anim Health Prod* 2007;39:179-188.

22. Hernández-Ortega M, Heredia-Nava D, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. *Trop Anim Health Prod* 2011;43:947-954.
23. ARC – Agricultural Research Council. The nutrient requirements of ruminant livestock. Slough, UK, Published on behalf of the Agricultural Research Council by Commonwealth Agricultural Bureaux. 1980.
24. Albarrán B, García A, Espinoza A, Espinosa E, Arriaga CM. Maize silage in the dry season for grazing dairy cows in small-scale production systems in Mexico's Highlands. *Indian J Anim Res* 2012;46:317-324.
25. Bryant RH, Dalley DE, Edwards GR. Effect of grazing management on herbage protein concentration, milk production and nitrogen excretion of dairy cows in mid-lactation. *Grass Forage Sci* 2013;69:644-654.
26. Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, Cassidy TW. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci* 2002;85:1777–1792.
27. Pérez-Prieto LA, Peyraud JL, Delagarde R. Pasture intake, milk production and grazing behaviour of dairy cows grazing low-mass pastures at three daily allowances in Winter. *Livest Sci* 2011;13:151–160.
28. Pérez-Prieto LA, Peyraud JL, Delagarde R. Substitution rate and milk yield response to corn silage supplementation of late-lactation dairy cows grazing low-mass pastures at 2 daily allowances in autumn. *J Dairy Sci* 2011;94:3592–3604.
29. Hernández-Mendo O, Leaver JD. Production and behavioral responses of high- and low-yielding dairy cows to different periods of access to grazing or to a maize silage and soybean meal diet fed indoors. *Grass Forage Sci* 2006;61:335-346.
30. Macoon B, Sollenberger LE, Staples CR, Portier KM, Fike JH, Morell JE. Grazing management and supplementation effects on forage and dairy cow performance on cool-season pastures in the southeastern United States. *J Dairy Sci* 2011;94:3949–3959.
31. Vázquez-Yañez OP, González-Rodríguez A, López-Díaz JE. Efecto de la suplementación con concentrado sobre el aprovechamiento de la hierba y el rendimiento de vacas lecheras durante el pastoreo de primavera en la costa norte de Galicia. *Pastos* 2010;40:83–104.
32. Ruiz-Albarrán M, Balocchi OA, Noro M, Wittwer F, Pulido RG. Effect of increasing pasture allowance and grass silage on animal performance, grazing behaviour and rumen fermentation parameters of dairy cows in early lactation during autumn. *Livest Sci* 2012;150:407–413.

33. Bernal-Martínez LR, Rojas-Garduño MA, Vázquez-Fontes C, Espinoza-Ortega A, Estrada-Flores J, Castelán-Ortega OA. Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda producida en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México. *Vet Mex* 2007;38:395-407.
34. Martínez-García CG, Rayas-Amor AA, Anaya-Ortega JP, Martínez-Castañeda FE, Espinoza-Ortega A, Prospero-Bernal F, Arriaga-Jordán CM. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Trop Anim Health Prod* 2015;47:331-337.